



بررسی مدل ارتعاشی شاخه درخت گردو

حسن حیدری^۱، علی جعفری^۲، حسین میلی^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و

فناوری دانشگاه تهران

mrheidari@ut.ac.ir

چکیده:

استفاده از ماشین‌های برداشت مکانیکی میوه، در کشاورزی مکانیزه به طور روزافزونی اهمیت پیدا می‌کند. اکثر ماشین‌های برداشت میوه به شاخه یا تنه‌ی درخت نیروی ارتعاشی اعمال می‌کنند. اغلب درختان گردوی ایرانی از لحاظ ریخت‌شناسی تفاوت زیادی با آنچه در باغات صنعتی است، دارند. این تفاوت‌ها مکانیزه کردن عملیات-های مرتبط با درخت گردو را با ماشین‌های متداول در ایران غیرممکن می‌سازد. توجه به شاخه‌تکان‌ها جهت برداشت درختان تنومند گردو در ایران امری ضروری است. هدف از این تحقیق استخراج رابطه‌ای بین جرم مؤثر مجموعه در حال ارتعاش با خواص مورفولوژیکی و فیزیکی شاخه درخت گردو و بررسی حالات مختلف گرفتن شاخه و انتخاب بهترین حالت می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات موقعیت نمونه‌ها از بیخ شاخه در خواص فیزیکی چوب گردو تأثیری ندارد. و در ادامه ثابت شد که با فاصله گرفتن موقعیت گیره از بیخ شاخه نه تنها انرژی مصرفی کاهش می‌یابد بلکه شتاب وارده به میوه بیشتر می‌شود. نتایج این تحقیق جدایی از کاربران شاخه-تکان‌های اینرسیایی می‌تواند برای شناخت بهتر طراحان تکننده‌ها برای مدل کردن صحیح شرایط ارتعاشی مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: جرم مؤثر، توان مصرفی، شاخه‌تکان، بهینه‌سازی

۱- مقدمه:

درختان تنومند گردو با تنه‌های قطور، تاج‌های بلند، شاخ‌وبرگ^۱ حجیم، شرایط خاصی را برای مکانیزاسیون باغات گردو در ایران فراهم کرده‌است. حضور این درختان در مناطقی سنگلاخی و صعب‌العبور، بدون رعایت فواصل استاندارد و منظم، عملاً حضور تنه‌تکان‌های تمام اتوماتیک را در پای درختان غیر ممکن می‌سازد. بنابراین لازم است شاخه‌تکان‌هایی برای برداشت گردو معرفی شود که قابل حمل و نقل^۲ بوده و مانورپذیری بالایی داشته باشد.

آگاهی از رفتار و خواص ارتعاشی درخت در راستای آنالیز ارتعاشی آن یکی از لوازم طراحی و بهینه سازی تکننده‌های اینرسیایی می‌باشد. مشکل بزرگی که بر سر راه طراحان ماشین‌های برداشت وجود دارد، محدودیت زمانی برای ارزیابی دستگاه می‌باشد. از طرفی دستگاه باید ابتدا ساخته شده باشد تا بعد از ارزیابی پی به نقاط ضعف

¹ Canopy

² Portable

و مثبت آن برد. با شناخت بهتر رفتار ارتعاشی درخت، این موانع بر سر راه طراح برداشته شده و در محیطی شبیه سازی شده با محدودیت های اصلی طراحی خود آشنا می شود (Zabolestani, 2004).

آدریان و فریدلی در سال ۱۹۶۵، برای تجزیه و تحلیل ارتعاشات درختی که تحت تأثیر نیروی ارتعاشی یک تکانه جرم های نامتعادل قرار داشت، فرضیاتی را در نظر گرفتند که عبارتند از: (۱) سیستم دارای یک درجه آزادی باشد. (۲) نیروی محرکه به صورت سینوسی تغییر کند. (۳) نیروی بازگرداننده سیستم به حالت اولیه با تغییر مکان متناسب است. (۴) نیروی میرایی با سرعت متناسب است. (۵) ارتعاش پایدار رخ می دهد. (۶) انرژی توسط تکانه ذخیره می شود. آن ها در نهایت با استفاده از معادله دیفرانسیل زیر که از قانون دوم نیوتن پیروی می کند به تحلیل پرداختند (رابطه ۱).

$$\sum F = ma$$

$$-kx - c \frac{dx}{dt} - m \frac{d^2}{dt^2} (x + r \cos \omega t) = (M_t - m) \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1)$$

که در آن:

x = تغییر مکان لحظه ای محل اتصال تکانه از حالت تعادل (m)، k = سختی فنری ($N m^{-1}$)، c = ضریب میرایی لزجی ($N s m^{-1}$)، r = شعاع خارج از مرکز جرم نامتعادل (m)، m = جرم نامتعادل تکانه (kg)، M_t = جرم مؤثر کل سیستم (kg)، t = زمان (s)، ω = سرعت زاویه ای ($rad s^{-1}$) (Adrian and Fridley, 1965).

یانگ و فریدلی در سال ۱۹۷۵ مدل کامپیوتری سیستم کامل درخت را تشکیل دادند. ایشان برای مطالعه رفتار درخت از روش اجزای محدود بهره بردند. آن ها با فرض بر اینکه اجزاء درخت الاستیک، همگن و ایزوتروپیک هستند، درخت را به سه ساختار: ۱- تنه درخت، شاخه اصلی و شاخه های فرعی ۲- میوه و دمچه ۳- برگ ها و ترکه ها، تقسیم کردند. معادله دینامیکی المان محدود درخت مدل سازی شده به شکل زیر ارائه کردند (رابطه ۲):

$$[M]\{\ddot{q}\} + [c]\{\dot{q}\} + [k]\{q\} = \{f\} \quad (2)$$

که:

$[M]$ = ماتریس جرم سیستم، $[c]$ = ماتریس میرایی سیستم، $[k]$ = ماتریس سختی سیستم، $\{q\}$ = ماتریس تغییر مکان سیستم، $\{\dot{q}\}$ = بردار سرعت سیستم، $\{\ddot{q}\}$ = بردار شتاب سیستم، $\{f\}$ = بردار نیروی سیستم، است. آن ها در مطالعه ای دیگر جدا شدن میوه به هنگام تکانه درخت قهوه و زیتون را با مدل اجزای محدود بررسی کردند. فرضیات مسائل مطرح شده حذف میرایی (برای تسهیل در محاسبات) و اعمال بارهای هارمونیک با بسامدی برابر با بسامد طبیعی سیستم میوه-دمچه بود. نتایج حاصله در مورد درخت قهوه نشان داد که وقتی باری با بسامد طبیعی اول سیستم میوه-دمچه وارد می شود، فرایند تشدید رخ می دهد و در ضمن مقاومت دمچه به میوه به مراتب بیشتر از دمچه به شاخه می باشد. برای درخت زیتون تشدید در بسامد طبیعی دوم رخ داد و تنش ایجاد شده بین دمچه-میوه بر خلاف قهوه بیشتر از دمچه-شاخه بود (Fridley and Yung, 1975).

علی‌پور و همکاران (۱۳۸۷) با نرم افزار ANSYS مدلی المان محدود از درخت کامل زیتون را با این قابلیت طراحی کردند که امکان اعمال خواص فیزیکی و مکانیکی اجزاء مختلف درخت فراهم بود. آن‌ها بهترین بسامد جهت تکاندن تنه درخت زیتون را ۱۷Hz بیان کردند، چون بیشترین تنش ماکزیمم میانگین را روی دمچه ایجاد می‌کرد. بسامد ۱۲/۵Hz بیشترین تغییر مکان را در تنه درخت به وجود می‌آورد.

در تحقیق دیگر با استفاده از معادله استاتیکی، موقعیت مرکز جرم در برابر توابع لرزش عمودی مشخص شده است. بر اساس این تابع، یک مدل ساده از سه عنصر جرم مؤثر، ثابت فنر و ضریب میرایی جنبشی که از سطح مقطع تنه به دیگر نقاط انتقال داده می‌شد. با جایگزینی این پارامترها در معادلات جابجایی تنه و مصرف توان منحنی‌های جابجایی تنه، توان مصرفی و دیگر پارامترها نسبت به ارتفاع گرفتن تنه ترسیم شده است. با محاسبه رابطه توان مصرفی و جابجایی تنه برای هر ارتفاع گرفتن تنه، مؤثرترین ارتفاع گرفتن تنه پیدا شد (La'ng, Z. 2006). یک سال بعد مدلی از درخت در حال ارتعاش ارائه شد. این مدل ترکیبی از تنه و ریشه‌های اصلی درخت بود. پارامترهای مدل ارتعاشی یک درخت گیلاس اندازه‌گیری شد. در یک محدوده مشخص بسامد به بررسی شتاب و جابجایی پرداخته شد. نتایج نشان داد که بسامد ۱۲-۱۴ هرتز اگر چه بیشترین دامنه را ایجاد نمی‌کند ولی شتاب لازم را برای جدا شدن میوه از درخت مهیا می‌کند (La'ng, Z. 2007).

در این مطالعه به دنبال استخراج رابطه‌ای بین جرم مؤثر مجموعه در حال ارتعاش با خواص مورفولوژیکی شاخه درخت گردو و پارامترهای مؤثر در زمان گرفتن شاخه توسط تکاننده هستیم. تا به کمک آن بتوانیم در راستای کاهش توان مصرفی دستگاه شرایط بهینه‌ی گرفتن شاخه درخت ارائه دهیم. این نتیجه از تحقیق برای کاربران شاخه‌تکان‌های اینرسیایی مفید خواهد بود. از جهت دیگر شناخت بهتر از جرم مؤثر درخت طراحان تکاننده‌ها را برای مدل کردن شرایط ارتعاشی کمک می‌کند تا بتوانند تکاننده سازگاری را برای درخت مورد نظر خود مدلسازی کنند.

۲- مواد و روش‌ها :

در بخش دوم مقاله به بررسی روش‌های مورد استفاده برای بررسی تغییرات چگالی و رطوبت نسبی در طول شاخه و پس از آن به روش‌ها تئوری بدست آوردن جرم مؤثر و انتخاب بهترین نقطه گرفتن شاخه توسط گیره خواهیم پرداخت.

۲-۱- نمونه برداری:

نمونه‌ها از شاخه‌های اصلی درختان گردوی (*Juglans regia L.*) ۱۵ ساله‌ی مرکز تحقیقات باغبانی دانشگاه تهران واقع در کرج استخراج شد. بعد از جداکردن شاخه‌های اصلی از درخت، نمونه‌ها را با ابعادی بیشتر از استاندارد ASTM143 بریده شد (Anonymous, 2000). برای جلوگیری از تغییر محتوای رطوبتی نمونه‌ها، بعد از برش، با نایلون نمونه‌ها پوشانده شد. قطعات بریده‌شده در گارگاه برش چوب، مطابق با استانداردهای ابعادی مربوط به هر آزمایش، بریده شد. سپس نمونه‌ها در آزمایشگاه خواص مکانیکی چوب در دمای $23-27^{\circ}\text{C}$ و رطوبت ۵۰٪ مورد آزمایش قرار گرفت.

۲-۲- محتوای رطوبتی و چگالی شاخه

محتوای رطوبتی یکی از خواص فیزیکی است که بر روی خواص مکانیکی و فیزیکی چوب تأثیرگذار است (Parsapajouh, 1988). پس لازم است در محیط‌های زنده حتماً به بررسی این پارامتر پرداخته شود. این مشخصه

برای نمونه‌های مکعبی $2 \times 2 \times 2$ cm در دمای 105°C و به مدت سه روز اندازه‌گیری شد. برای بدست آوردن رطوبت نسبی (AOAC,1984) از معادله‌ی ۳ استفاده شد:

$$MC = \frac{M_0 - M_d}{M_d} \times 100 \quad (3)$$

که MC محتوای رطوبتی (d.b.)، M_0 جرم ابتدایی و M_d جرم پایانی نمونه‌هاست.

شناخت چگالی به عنوان پارامتری که در تعیین جرم مؤثر نقش مهمی دارد، حائز اهمیت بود. در این تحقیق چگالی با اندازه‌گیری جرم نمونه‌های $2 \times 2 \times 2$ cm و تقسیم آن بر حجم نمونه چگالی نمونه‌ها محاسبه شد. ترازوی مورد استفاده از مدل sky-600 بود و دقتی برابر $0/01$ گرم داشت.

۲-۳- بررسی تغییرات رطوبت و چگالی در طول شاخه:

علاوه بر شناخت مقادیر میانگین رطوبت و چگالی، فهم تغییرات این دو مشخصه در طول شاخه اهمیت فراوانی دارد. برای بررسی تغییرات این دو پارامتر از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. و با استفاده از نرم‌افزار SPSS اطلاعات جمع‌آوری شده مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمونه‌ها در ۳ تیمار و ۶ تکرار دسته‌بندی شدند. سه تیمار A، B و C به ترتیب نمونه‌های بودند که از بیخ شاخه، وسط شاخه و انتهای شاخه انتخاب شده بودند.

۲-۴- تئوری جرم مؤثر:

مدل سازی و آنالیزهای ارتعاشی درخت با در نظر گرفتن فرض‌ها و محدودیتهایی انجام گرفت که عبارت‌اند از: (۱) درخت دارای رفتار الاستیک است. (۲) خواص مکانیکی اجزاء درخت همگن و ایزوتروپیک هستند. (۳) نیروی بازگرداننده‌ی سیستم به حالت اولیه با تغییر مکان متناسب است (تغییر شکل الاستیک است). (۴) نیروی تکاننده به صورت سینوسی تغییر می‌کند. (۵) ارتعاش پایدار رخ می‌دهد (از ارتعاش گذرای لحظات اول تکاندن صرف‌نظر شده است). (۶) میرایی لزجی است (نیروی میرایی با سرعت متناسب است). (۷) مقطع شاخه اصلی دایره و حجم آن به صورت یک مخروط فرض شد. (۸) جرم شاخ و برگ و میوه بر سر شاخه برابر با جرم شاخه فرض شد به طوری که به عنوان یک جرم مؤثر در فاصله $L/4$ از بیخ شاخه قرار گرفت (Hoag et al, 1970). پس خواهیم داشت:

$$M_t = \rho \pi a^2 L / 3 \quad (4)$$

$$a = \sqrt{\frac{3 M_t}{\rho \pi L}} \quad (5)$$

که در آن: M_t جرم شاخه اصلی، ρ چگالی چوب شاخه، a شعاع مقطع شاخه اصلی، L طول شاخه.

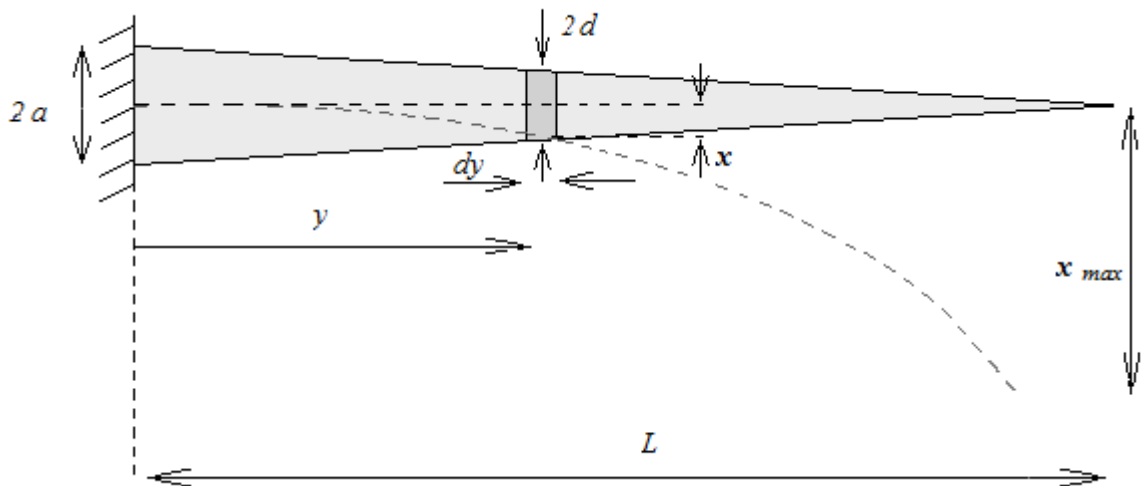
(۱۰) همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید می‌توان برای رفتار خمشی شاخه درخت یک رابطه مثلثاتی مانند

معادله ۶ فرض کرد.

$$x = x_{max} \left(1 - \cos \frac{\pi y}{2L}\right) \quad (6)$$

با توجه به شکل ۱ و با استفاده از قضیه تالس خواهیم داشت؛

$$\frac{x}{a} = \frac{L - y}{L} \Rightarrow x = a \left(1 - \frac{y}{L}\right) \quad (7)$$



شکل ۱- طرح شماتیک شاخه اصلی درخت گردو

جرم المان مورد نظر از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Rightarrow dM_t = \rho \pi a^2 \left(1 - \frac{y}{L}\right)^2 dy \quad (8)$$

میزان انرژی جنبشی این المان (dE_{KT}) به قرار زیر است؛

$$dE_{KT} = \frac{1}{2} dM_t \dot{x}^2 \quad (9)$$

از ادغام روابط ۶ و ۸ و ۹ انرژی جنبشی مذکور با انتگرال از رابطه ۱۰ بدست می آید:

$$dE_{KT} = \frac{1}{2} \rho \pi a^2 \left(1 - \frac{y}{L}\right)^2 dy \left(\dot{x}_{max}^2 \left(1 - \cos \frac{\pi y}{2L}\right)^2 \right) \quad (10)$$

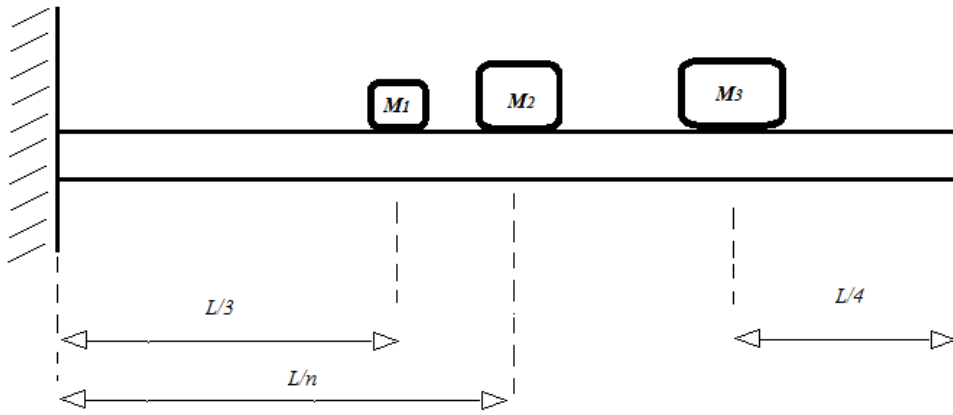
$$E_{KT} = \frac{1}{2} \rho \pi a^2 \dot{x}_{max}^2 \int_0^L \left(1 - \frac{y}{L}\right)^2 \left(1 - \cos \frac{\pi y}{2L}\right)^2 dy \quad (11)$$

با محاسبه انتگرال رابطه ۱۱، و با توجه به فرم اصلی معادله انرژی جنبشی (رابطه ۱۲) مقدار جرم مؤثر شاخه

اصلی (M_1) برابر جرم کل (M_t) بدست آمد:

$$E_{KT} = \frac{1}{2} m_{\text{eff}} \dot{x}^2 \quad (12)$$

$$M_1 = 0.037 M_t$$



شکل ۲- طرح شماتیک از مجموعه جرم‌های در حال ارتعاش

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، گیره در فاصله L/n از بیخ شاخه قرار گرفته است.

$$\frac{\dot{x}_1}{\dot{x}_2} = \frac{\frac{L}{3}}{\frac{L}{n}} = \frac{n}{3} \Rightarrow \dot{x}_1 = \frac{n \dot{x}_2}{3} \quad (13)$$

$$\frac{\dot{x}_2}{\dot{x}_3} = \frac{\frac{L}{n}}{\frac{L}{4}} = \frac{4}{3n} \Rightarrow \dot{x}_2 = \frac{3n \dot{x}_3}{4} \quad (14)$$

$$T = \frac{1}{2} M_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} M_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} M_3 \dot{x}_3^2 \quad (15)$$

انرژی کل مجموعه را بر حسب سرعت جابجایی جرم تکاننده (M_2) محاسبه می‌کنیم:

$$T = \frac{1}{2} \left(\frac{n^2}{9} M_1 + M_2 + \frac{9n^2}{16} M_3 \right) \dot{x}_2^2 \quad (16)$$

با توجه به رابطه ۱۶ جرم مؤثر کل مجموعه در حال ارتعاش طبق رابطه ۱۸ برابر است با:

$$M_{\text{eff}} = \frac{n^2}{9} M_1 + M_2 + \frac{9n^2}{16} M_3 \quad (17)$$

$$M_{\text{eff}} = \left(\frac{M_1}{9} + \frac{9M_3}{16} \right) n^2 + M_2 \quad (18)$$

۳- نتایج و بحث:

نتایج بررسی خواص فیزیکی چوب تازه شاخه درخت گردو در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر استخراجی از اندازه‌گیری خواص فیزیکی چوب شاخه گردو

پارامترها	تیمارها	ماکزیمم	مینیمم	انحراف معیار	میانگین
رطوبت نسبی (d.b.)	A	78.77	46.97	11.96	56.78
	B	55.61	44.92	4.05	49.67
	C	56.45	41.14	5.39	50.41

52.29	8.14	41.14	78.77	میانگین	
918.13	108.90	810.00	1103.75	A	
960.63	148.20	772.50	1176.25	B	چگالی
971.04	103.79	866.25	1146.25	C	(kg m ⁻³)
949.93	116.92	772.50	1176.25	میانگین	

همانطور که در جدول بالا آورده شده است، میانگین رطوبت نسبی و چگالی برای مجموع نمونه‌ها به ترتیب (d.b.) ۵۲/۲۹ و ۹۴۹/۹۳ (kg m⁻³) می‌باشد. در جدول ۲ برخی از مشخصات جدول تجزیه واریانس طرح آزمایشی به طور اجمالی بیان شده است.

جدول ۲- قسمتی از تجزیه واریانس طرح کاملاً تصادفی

F		F		
0.317	4714.93	1.462	91.87	2
	14864.77		62.85	15
				17

همانطور که مشاهده کردید بین میانگین تیمارها در آزمون F اختلاف معنی داری حتی در سطح ۱۰٪ هم مشاهده نشد. با توجه به جدول ۱ مشخص شده که با دورتر شدن از بیخ شاخه چگالی چوب افزایش جزئی دارد. ولی در نگاه آماری تنها رطوبت نسبی که چگالی چوب شاخه درخت در طول شاخه اختلاف معنی داری ندارد. و می‌توان در فرضیات مسئله مقدار آن‌ها را ثابت و برابر مقدار میانگینشان در نظر گرفت.

با توجه به تحقیقاتی که هوگ و فریدلی (۱۹۷۰) روی پاسخ دینامیکی غیرخطی شاخه‌ی درخت انجام دادند، جرم شاخ و برگ درخت را با جرم شاخه‌ی اصلی یکی دانستند. پس:

$$M_1 = M_3 = \frac{\rho_{LW} \pi a^2 L}{3} \quad (19)$$

$$M_{seqq} = (0.19 \rho_{LW} \pi) a^2 L n^2 + M_2 \quad (20)$$

با فرض برابر بودن چگالی چوب شاخه در تمام نقاط شاخه و همگن بودن پراکندگی شاخ و برگ، از این رابطه می‌توان دریافت جرم مؤثر شاخه درخت بیش از این که متأثر از طول شاخه باشد به موقعیت گرفتن شاخه توسط گیره تکاننده و شعاع بیخ شاخه بستگی دارد. چون رابطه جرم مؤثر با طول شاخه رابطه‌ای مستقیم است. در حالیکه جرم مؤثر با مجذور شعاع بیخ شاخه و n (معکوس فاصله بیخ شاخه تا گیره) بستگی دارد.

در فرض جرم کل تکاننده‌های اینرسیایی توصیه می‌شود که جرم تکاننده (M₂) حداقل با جرم مؤثر شاخه باید برابر باشد (Adrian and Fridley, 1965). پس M_{eqq} خواهد بود:

$$M_{seqq} = 2(0.19 \rho_{LW} \pi) a^2 L n^2 = (0.38 \rho_{LW} \pi a^2 L) n^2 = C n^2$$

در زمانی که n به ترتیب: $1/4$ ، $1/3$ ، $1/2$ باشد M_{eqq} : $1/16$ ، $1/9$ ، $1/4$ مقدار C خواهد بود. و با توجه به معادله زیر و فرض ثابت بودن mr میزان جابجایی S در نقطه اتصال گیره به درخت، به ترتیب 16 ، 9 ، 4 برابر خواهد شد. اما برای ایجاد شتاب به میوه جابجایی در نقطه مرکز جرم میوه ها مهم می باشد. برای بدست آوردن جابجایی در نقطه $(4L)/3$ از بیخ شاخه با استفاده از قضیه تالس به ترتیب برای n های سه گانه 12 ، $20/25$ ، 24 خواهیم شد.

این نتیجه نشان داد که هرچه محل گرفتن شاخه از بیخ آن توسط گیره تکاننده بیشتر باشد، تنها توان مصرفی کاهش می یابد، بلکه شتاب وارده به میوه برای جدا شدن از دمچه بیشتر می شود.

زمان برداشت پارامتر دیگری است که باید مد نظر قرار گیرد. همانطور که می دانید ریخت شاخه درخت گردو به گونه ایست که شاخه اصلی به چند شاخه کوچکتر انشعاب می یابد. برای اینکه در زمان برداشت صرفه جویی لازم صورت گیرد بهتر است به جای لرزاندن شاخه های انشعاب شده، به یکباره شاخه اصلی را لرزاند. پس با توجه به این مطلب و نتیجه ای که در بند قبل بدست آمد، به کاربران تکاننده های شاخه ای توصیه می شود محل گرفتن شاخه را بین انشعاب اول و بیخ شاخه، در نزدیکترین نقطه مناسب به انشعاب قرار داده و عمل لرزاندن را انجام دهند.

نتیجه گیری:

- ۱- تغییرات مکانی نمونه بر روی شاخه تفاوت معنی داری در مشخصه های فیزیکی رطوبت نسبی و چگالی نمونه ها نداشت.
- ۲- رابطه استخراجی از جرم مؤثر مدل ارتعاشی شاخه تکان و شاخه ارائه شد که با توجه به آن می توان ادعا کرد اثرگذاری محل گرفتن شاخه بیشتر از طول و چگالی شاخه بر روی جرم مؤثر می باشد.
- ۳- مکان مناسب شاخه برای گرفتن گیره نزدیکترین نقطه به انشعاب اول، بین بیخ شاخه و انشعاب شاخه های فرعی گزارش شد. این نتیجه با توجه به سه شاخص مصرف انرژی، بیشترین شتاب وارده به میوه و زمان برداشت ارائه شد.

سپاسگزاری :

نگارنده برای تهیه مواد آزمایشی و انجام آزمون های مکانیک چوب نیازمند منابع و تجهیزات دو گروه مهندسی باغبانی و صنایع چوب و کاغذ در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران بود، که با مساعدت دکتر دلشاد و دکتر ابراهیمی و همکاری کارمندان این مجموعه های تحقیقاتی این شرایط فراهم شد. خالصانه مهربانی های ایشان را سپاس می گویم.

منابع :

علی‌پور، ج.، مدرس مطلق، ا.، رحمانی دیدار، ع. ۱۳۸۷. شبیه سازی و آنالیز رفتار ارتعاشی درخت زیتون با استفاده از نرم افزار ANSYS. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.

- Adrian, P. A., Fridley, R. B. 1965. Dynamics and Design Criteria of Inertia-Type Tree Shakers. Trans. of the ASAE. No. 62- 154
- AOAC, 1984. Official methods of analysis. 14th edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C.
- Anonymous 2. 2000. American Society Testing and Materials. Methods D 143-2000, Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber.
- Hoag, I. D., James, H. and R. B. Fridley. 1970. Effect of proportional, non proportional and nonlinear damping on dynamic response of tree limbs. Trans. of the ASAE. 13(5): 879-884.
- La ng, Z. 2006. Dynamic Modeling Structure of a Fruit Tree for Inertial Shaker System Design. Biosystems Engineering 93 (1), 35–44
- La ng, Z. 2007. A simple model for fruit tree shaking harvest. International Journal of Horticultural Science, 13 (1): 33–36
- Parsapajuh, D. 1988. Wood Technology. Tehran University Publications, Iran. Second edition (in Farsi).
- Yung, C. and Fridley, R.B. 1975 simulation of vibration of whole tree system using finite element. Trans. of ASAE 18(3): 475-481.
- Zabolestani, M. 2004. Determination of almond fruits vibratory resistance and its tree dynamic simulation. Ph. D. Thesis. . Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran. (In Farsi)

Survey of vibration modulus of walnut limb tree

Using of fruit mechanical harvesting on agriculture becomes important increasingly. Most of Iranian walnut tree morphology has very different from those in the industry orchards. These differences walnut mechanization with conventional machine makes it impossible. This study extracted the relationship between effective mass with the physical properties of walnut limbs and branch review different scenarios and get the best mode is selected. This study showed that the samples position changes in the physical properties of butt walnut limb has no influence. And continue to prove that position away from the butt cleat branches not only reduces energy consumption but also accelerated into the fruit, is more.

Keywords: effective mass, consumption power, limb shaker, optimization.